

DE L'INTERPRÉTATION CRÉATIVE DU RÉEL AU PROCESSUS BAYÉSIEN DE CONCEPTION ARCHITECTURALE

Author(s) / Auteur(s) :

Damien CLAEYS

Architecte, Docteur en art de bâtir et urbanisme, Chargé de cours

Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (UCL)

damien.claeys@uclouvain.be

Abstract / Résumé :

Avant d'être une capacité à concevoir un projet d'architecture à la fois inédit et adapté au contexte dans lequel il doit s'implanter, la créativité est d'abord une capacité humaine plus générale à construire quotidiennement un réel augmenté – un double imaginaire du réel – pour mener des actions efficaces dans le réel en fonction d'une finalité projective. Par ailleurs, le fonctionnement physiologique du corps lui-même passe par plusieurs transcodages d'informations.

L'interprétation créative du réel émerge de l'interaction entre le traitement ascendant de nouvelles informations incomplètes perçues par le sens et le traitement descendant des informations dynamiques conservées dans la mémoire.

Le présent essai spéculatif tente la transposition d'une conception bayésienne du cerveau prenant en compte la dimension statistique de l'interprétation créative du réel à une modélisation partielle du processus de conception architecturale.

Keywords / Mots-clés :

architecture, conception, modèle, bayésien, créativité, système, systémique, perception, mémoire

Définie de manière générique, par exemple, comme "la capacité à réaliser une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée au contexte dans lequel elle se manifeste" (Lubart *et al.*, 2003), la créativité est principalement étudiée comme une capacité cognitive de la conscience permettant la production de quelque chose de nouveau tel qu'une idée, une découverte scientifique, une œuvre d'art, une histoire, un message publicitaire... ou un projet d'architecture. Mais dans son fonctionnement physiologique et cognitif, l'enchaînement des actes de la conscience – créatifs ou non – repose sur une interprétation/projection tout aussi *créative* du réel. Pour le dire autrement, une forme de créativité est à l'œuvre *quotidiennement* lorsque l'être humain affine patiemment la compréhension imaginaire de l'environnement dans lequel il désire agir efficacement pour répondre à ses besoins physiologiques, psychologiques et sociaux.

Plus particulièrement, dans le cas de la conception architecturale, la première hypothèse soutenue dans le présent essai spéculatif est que trois processus dynamiques existent à des niveaux différents et qu'ils semblent se déployer les uns à partir des autres. Chacun de ces processus est créatif dans le sens où il produit automatiquement ou intentionnellement de nouvelles informations adaptées à son niveau (n) avant de les réadapter pour les mettre à disposition du processus du niveau supérieur ($n+1$) après un recodage spécifique. Ces trois processus sont :

1. le fonctionnement *physiologique* du corps suit une chaîne d'opérations entre lesquelles des recodages automatisés ont lieu : les stimuli physico-chimiques de l'environnement excitent les cellules sensorielles des organes perceptifs qui modifient leurs propriétés bioélectriques au cours d'un processus de transduction pour en faire des influx nerveux envoyés vers le cerveau ;
2. le *processus cognitif* de la conscience émerge du fonctionnement des influx nerveux dans le système neuronal : la conscience développe une compréhension quotidienne de l'environnement pour prendre des décisions relativement simples. Il fonctionne en suivant une chaîne non linéaire d'opérations entre lesquels des recodages d'informations intentionnels ont lieu ;

3. le *processus de conception architecturale* émerge du fonctionnement global du processus cognitif de la conscience du concepteur.

Autrement dit, dans un processus de conception architecturale, outre les actes de pensée *créatifs* produits intentionnellement par la conscience du concepteur, la créativité apparaît *naturellement* dans les processus physiologiques et cognitifs de traitement d'informations à l'œuvre dans le corps et la conscience.

Cette première hypothèse mène à la seconde développée ici : à partir du moment où l'interprétation créative du réel opérée par la conscience peut être modélisée avec une approche bayésienne du cerveau, prenant en compte la subjectivité humaine lors de la prise de décisions, serait-il possible d'appliquer celle-ci à une modélisation heuristique partielle du processus de conception architecturale ?

INTERACTION ENTRE NIVEAUX PHYSIOLOGIQUE ET COGNITIF

La question des interactions entre les dimensions physiologique et cognitive de l'être humain est débattue depuis les origines de la philosophie à partir de l'opposition traditionnelle entre les concepts de corps et d'esprit. Aujourd'hui, les philosophes de l'esprit parlent de *mind-body problem* (le problème du corps-esprit). Parmi d'autres possibles, la posture prise ici est celle de l'*émergentisme* qui repose sur l'idée que "le tout est différent des parties" (Claeys, 2013)¹, ou que ce qui se passe à un niveau n ne permet pas la prédiction de ce qui se passera à un niveau $n+1$.

Pour opérer une distinction entre les réalités construites et le réel, le concept de "réel augmenté" a été défini comme "un double du réel co-construit par l'homme – qualifié d'augmenté – contre lequel, impertinent, le réel résiste dès qu'il est provoqué" (Claeys, 2013). Contrairement à la *réalité augmentée* (AR) – semi-immersive, en ajoutant des objets virtuels dans un environnement réel – et à la réalité virtuelle (VR) – immersive, en créant virtuellement un environnement réel² – qui nécessitent des moyens techniques et matériels (des machines réelles) pour surimposer des informations au réel – autant de stimuli potentiels, capables d'exciter les capteurs externes du corps pour compléter la perception du monde de l'usager –, le réel augmenté R' est intrapsychique, produit *naturellement* par la conscience.

De manière heuristique, à partir de son interaction créative avec l'environnement, l'être humain peut être représenté par une boucle dynamique ancrée dans le réel R à partir de laquelle émerge une seconde boucle dynamique génératrice du réel augmenté R' (Claeys, 2017)³. Autrement dit, une boucle au niveau physiologique (stimulation/action) d'où émerge une boucle au niveau cognitif (interprétation/projection). La première étant nécessaire à l'émergence de la seconde, mais pas suffisante (*cf.* figure 1). Ce modèle est non dualiste dans le sens où il ne repose pas sur l'existence de deux instances séparées : un corps et une âme. L'âme n'est pas extérieure et détachable du corps, mais l'être humain possède une liberté de penser. Selon le philosophe des sciences belge Bernard Feltz (2003), avec une posture émergentiste, cette liberté peut être pensée comme "un espace d'indétermination, propriété de

¹ Au IV^e siècle avant J.-C., Aristote énonce dans sa *Métaphysique* [1991, 1045a] l'aphorisme "le tout est plus que les parties", régulièrement repris avant d'être popularisé par les théoriciens de la *Gestalttheorie* (Ehrenfels 1890) : "une forme est autre chose ou quelque chose de plus que la somme des parties". À la fin du XIX^e siècle, l'émergentisme britannique a développé le concept d'émergence à partir de trois principes (Claeys, 2013) : (1) la *non-additivité* : l'émergence apparaît sous l'effet d'une cause complexe différente de la somme des effets provoqués par des causes partielles isolées ; (2) la *nouveauté* : l'émergence est une croissance continue de complexité parallèle à un processus créatif ; (3) la *non-déductibilité* : une propriété émergente est impossible à déduire de façon logique, même avec une connaissance la plus complète possible des propriétés du phénomène observé, bien que ce soit parfois seulement révélateur des limites de l'état des connaissances au moment de l'observation. Aujourd'hui, le concept d'émergence tourne autour de l'idée d'"irréductibilité", qui s'oppose à l'heuristique réductionniste. Selon Robert Nadeau (1999), la thèse de l'émergence consiste en ce que "les propriétés d'un ensemble ne peuvent en général [pas] être prédites à partir d'une information concernant ses parties", ce qui, en épistémologie, concerne d'abord le problème de la "prédiction". La thèse de l'émergence implique en effet qu'"aucune prédiction n'est assurée". D'ailleurs, "si toutes les propriétés pouvaient en principe être prédites, c'est la déduction logique qui fonderait tous les cas d'inférence empirique", ce qui est évidemment impossible.

² Bien que la réalité virtuelle soit toujours présentée comme *immersive*, dans l'absolu, elle ne pourra jamais l'être totalement puisqu'elle est incapable de créer le réel.

³ Au départ, un *plus* distinguait R^+ de R . Mais le réel augmenté est, à la fois, *moins* que le réel puisque notre conscience souffre d'une limite cognitive dans le traitement des informations extérieures et *plus* que le réel puisque notre conscience est capable de faire émerger un monde intérieur qui n'existe pas dans le réel. Dorénavant, un *prime* sera utilisé pour le distinguer du réel.

l'organisme humain, non réduite aux propriétés des éléments constitutants, non réduite à sa structure biologique". Il explique que la position émergentiste présente une causalité descendante (*downward causation*) : le niveau *supérieur* de la conscience possède une autonomie propre, mais il possède avec le niveau *inférieur* du corps un rapport de condition de possibilité. Selon lui, l'être humain n'est pas libre physiologiquement, mais la liberté est pensable comme une capacité d'autodétermination : le libre arbitre est la "possibilité de choix entre diverses alternatives dans le comportement humain".

L'apparente *liberté* de l'être humain s'exprime dans l'autonomie avec laquelle il construit son réel augmenté *R'* à partir d'élan affectifs, de recherches spirituelles, d'émerveillements esthétiques, de la hiérarchisation qu'il donne à ses besoins physiologiques, psychologiques et sociaux. Le réel augmenté peut être considéré comme une propriété émergente de la structure biologique complexe qui caractérise l'être humain qui le construit⁴.

La première boucle est l'expression d'un substrat biologique – par analogie, un *hardware* – qui fonctionne par "computation", alors que la seconde boucle est la représentation d'une émergence cognitive – par analogie, un *software* – qui fonctionne par "cogitation" (Morin, 1986)⁵ :

- la *première boucle* est à l'œuvre entre l'environnement et le corps biologique de l'être humain. Les stimuli physiques – les *inputs* – viennent, à la fois, de l'extérieur (du contexte) et de l'intérieur (du corps). Les stimuli excitent les récepteurs des organes sensoriels, les capteurs extérieurs (yeux, oreilles, peau, langue, nez) et internes (sensibilité viscérale des organes, surface cutanée, proprioception des articulations et des muscles) en variant l'état des nerfs sensoriels⁶. À partir d'un traitement de l'information brute, le corps produit une *synesthésie* des sens pour construire une *sensation* psychologique⁷ ;
- la *seconde boucle* est active entre l'image mentale que possède l'être humain de son environnement et celle qu'il a de son propre corps en relation avec cet environnement. Le cerveau décode la sensation par un processus de perception externe et interne (la perception rend intelligible la sensation en identifiant une signification à la source de celle-ci) et il opère une *synthèse* des informations parfois contradictoires, archivées dans ses mémoires et décodées par la perception, avant de concevoir ses actions futures.

De l'établissement de ces deux boucles, l'être humain est donc "un être (auto)organisé en interaction dynamique avec son environnement qui adapte son comportement en fonction du *projet téléologique* – finalité projective interne – qu'il poursuit à court/moyen/long terme" (Claeys, 2016). Un projet *téléologique* tel que décrit ici est "le catalyseur d'un processus d'action menant à une finalité interne (celle fixée par le système lui-même)". Ce type doit clairement être distingué d' "une programmation *téléonomique* associée à une finalité externe (celle du modélisateur du système)" ou d' "une destinée *théologique* sous l'effet d'une cause extérieure (celle d'une intelligence divine)" (Claeys, 2016). L'être peut donc être considéré comme un *agens* (agissant) dans le sens où cet être (auto)organisé est une entité qui agit en fonction d'un projet personnel. Cette finalité subjective dont les motivations varient, capable d'orienter des stratégies d'action pour répondre à des besoins physiologiques, psychologiques et sociaux.

⁴ La posture n'est pas réductionniste non plus dans le sens où la conscience est bien le produit de l'évolution naturelle mais son étude nécessite une approche différente de celle du corps.

⁵ Pour Edgar Morin (1986, pp.122-123), le *cogito ergo sum* cartésien doit être complété en un *cogito ergo computo ergo sum*, pour montrer l'existence de deux niveaux logiques dialogiques (qui ne peuvent exister l'un sans l'autre) le *computo* – cerveau (présent chez tous les êtres vivants) et le *cogito* – esprit (présent chez les humains).

⁶ Chaque sens est associé à un organe sensoriel, sensible à des sollicitations différentes : des ondes lumineuses frappent notre rétine, des ondes sonores frappent nos tympans, des molécules stimulent notre langue et nos narines. La peau est soumise à un grand nombre de sollicitations variables : des stimuli externes, à la fois, physiques (thermique, mécanique, électrique, rayonnement) et chimiques, ainsi que des stimuli indirects (chocs, inflammations, variations de la circulation sanguine, stress émotionnels...).

⁷ Le mot *synesthésie* venant du latin *syn-* (avec, union) et *aesthesia* (sensation) est utilisé ici par analogie pour exprimer en un mot le croisement des cinq sens. Mais la vraie synesthésie est neurologique et involontaire. Elle vient des récepteurs sensoriels qui réagissent à une excitation venue de l'extérieur du corps biologique.

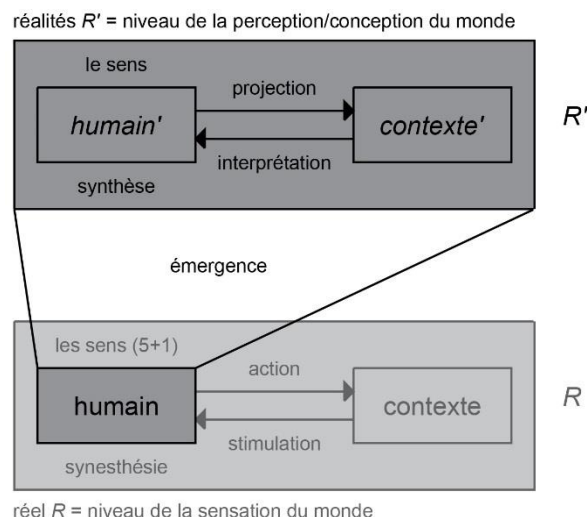


Fig. 1 – Damien Claeys, L'émergence dynamique de R' à partir de l'interaction du corps avec le contexte dans R .

CRÉATIVITÉ DU NIVEAU PHYSIOLOGIQUE

Du côté de la dimension physiologique, le processus de *computation* à l'œuvre dans le substrat biologique de l'être humain est d'une certaine manière créatif dans le sens où, même si ces actions sont automatisées, les informations en provenance de l'environnement sont *sélectionnées* et *transcodées*.

Selon le neurologue français Marc Jeannerod (2005), le corps est "immergé" dans un "champ de forces" physiques et chimiques dont les capteurs – "les organes de sens" – enregistrent les variations : les ondes lumineuses sont captées par la rétine (vue), les ondes sonores, par la cochlée (ouïe), les forces mécaniques (contact, frottement, pression) et les variations thermiques, par la peau (toucher) ; les sens chimiques (goût et odorat) fonctionnent grâce à des capteurs sensibles à la forme de certaines molécules. Le type de capteurs présents dans les organes perceptifs "limitent la gamme des variations du monde physique que nous pouvons enregistrer". Certains phénomènes physiques échappent donc complètement à la conscience humaine : c'est pourquoi toute perception est une *réduction* du réel R .

Les stimuli du corps et de l'environnement créent une sensation dont l'information est transmise à un nombre plus restreint de voies nerveuses, puis transmise au cerveau qui ne fournit qu'un nombre limité de bits dotés de conscience. De nombreuses sources de "bruit" brouillent la transmission des informations dans le système nerveux du corps humain⁸. Ce système est constitué d'un réseau dynamique de neurones, animé par des influx nerveux qui, grâce aux décharges de potentiels d'action des neurones, circulent le long de chaînes neuronales par l'intermédiaire de substances chimiques appelées les neurotransmetteurs⁹. Mais, selon le neurobiologiste français Thomas Boraud (2015) :

- à l'échelle *moléculaire* des variations infimes de potentiel apparaissent ;
- à l'échelle *synaptique*, "la libération des neurotransmetteurs par exocytose suit des processus aléatoires : un potentiel d'action ne provoquera pas systématiquement la libération du même nombre de neurotransmetteurs" ;
- à l'échelle du *réseau*, "ces phénomènes peuvent être amplifiés par des processus de bifurcation surtout dans des réseaux qui reposent sur des populations de neurones excitateurs et inhibiteurs interconnectés de façon aléatoire".

⁸ En théorie de l'information, le *bruit* est l'ensemble des perturbations aléatoires qui agissent sur le canal de transmission de l'information et qui dégradent l'information en brouillant le message.

⁹ Pour donner une idée de la complexité du système nerveux humain permettant l'émergence de la pensée et la construction mentale du réel augmenté R' : un cerveau contient environ 10^{11} neurones (100 milliards) et un neurone possède environ 10^4 connexions (10 000), donc au total, il existerait environ 10^{15} connexions (1 million de milliards !).

Si bien qu'au départ le cerveau possède une capacité à bifurquer¹⁰ basée sur des processus stochastiques et dynamiques, sachant qu'au fur et à mesure de l'apprentissage "la bifurcation va emprunter la voie la plus probable" puisqu'elle nécessite moins d'énergie, "mais de par la nature stochastique du réseau, il pourra lui arriver de temps à autre de prendre une autre voie". La transmission des stimuli au cerveau est donc discontinue, mais la conscience efface naturellement toute trace du travail du corps pour qu'aucune interférence ne vienne troubler l'apparente continuité des actes cognitifs.

CRÉATIVITÉ DU NIVEAU COGNITIF

Malgré les scénarios optimistes des premiers chercheurs en intelligence artificielle¹¹, les concepteurs de projets d'architecture sont à priori des êtres humains. Or, les psychologues affirment que la créativité est l'une des principales capacités cognitives commune à tous les individus, ce qui permet notamment la distinction entre l'espèce humaine et les autres espèces d'êtres vivants¹². Selon le psychologue hongrois Mihály Csíkszentmihályi (1996) : "Chaque espèce découvre et comprend son environnement grâce aux informations que son équipement sensoriel est programmé pour traiter." Alors que "toutes les espèces vivantes – à part la nôtre – comprennent le monde à partir de réactions plus ou moins innées à certains types de sensations", l'espèce humaine a quant à elle "ouvert de nouvelles perspectives sur le réel à partir d'informations traduites en symboles qui viennent compléter les étroites fenêtres sur le monde que nous fournissent nos sens et nos gènes". Autrement dit, les cadrages du réel opérés par les niveaux cognitifs et physiologiques. Selon lui, la créativité – quotidienne ou non – doit être étudiée parce que : l'être humain partage 98 % de son patrimoine génétique avec le chimpanzé et que la créativité serait l'un des traits singuliers permettant de le distinguer avantagusement des autres primates.

Parmi les différentes formes de créativité étudiées, l'une est basique et commune à tous les êtres humains, c'est la créativité quotidienne. De là, à défaut d'être nécessairement un créateur *historique*, tout concepteur de projets d'architecture est affecté, au minimum, d'une "créativité quotidienne"¹³. Mais d'où vient-elle ?

De manière quotidienne, l'être humain oriente des processus créatifs limités pour comprendre le réel dans lequel il vit (interpréter le réel) et pour mener des actions efficaces en vue d'assurer ses besoins physiologiques et ses désirs psychologiques et sociaux (agir dans le réel). Ces processus sont nécessairement créatifs pour contrebalancer les apories de la conscience qui, à défaut de connaître directement et complètement le *réel*, ne peut que construire des *réalités* multiples.

Le flux des actes de pensée qui anime notre conscience nous semble continu et nous considérons que nos sens sont des sources précises d'information au sujet de l'environnement écosystémique avec lequel nous interagissons. Mais, à partir du moment où il est admis que la perception que nous avons du réel *R* n'est que le résultat d'un processus mental de construction d'un réel augmenté *R'*, émergent lui-même à partir d'un processus physiologique de traitement limité de signaux électriques, nous devons remettre en question la fiabilité de nos sens.

¹⁰ Selon Thomas Boraud (2015), une bifurcation décrit "un processus dans lequel un petit changement d'un paramètre physique produit un changement majeur dans l'organisation du système".

¹¹ "Il n'est pas dans mon propos ni de vous épater, ni de vous scandaliser [...]. Mais je ne saurais mieux me résumer qu'en annonçant qu'il existe désormais au monde des machines capables de penser, d'apprendre et de créer. Qui plus est, le champ de leurs possibilités est appelé à s'élargir à une cadence rapide jusqu'au jour où – dans un avenir qui n'est pas si lointain – la gamme des problèmes qu'elles seront à même de traiter équivaudra à celle que peut appréhender l'être humain." (Simon, 1958, cité par Dreyfus, 1972)

¹² Dire que la créativité est une particularité inhérente à la vie ne signifie en aucun cas affirmer (ou non) l'existence d'une cause extérieure ou d'une finalité externe à la base de la vie (par exemple, une intelligence divine).

¹³ Parmi d'autres, la chercheuse britannique Margaret A. Boden (1990) distingue la "créativité psychologique" (un individu formule une idée nouvelle par rapport à ses connaissances et compétences) de la "créativité historique" (un individu produit une idée innovante pour l'histoire collective). La créativité psychologique s'observe "chaque fois qu'un individu produit une solution nouvelle, par rapport à ses expériences précédentes, à un problème qu'il rencontre", tandis que la créativité historique représente "un sous-ensemble de la créativité psychologique", dans le sens où "elle se révèle être nouvelle pour l'individu ainsi que pour un ensemble d'individus pouvant attester de cette nouveauté, dans un temps donné" (Lubart *et al.*, 2003, 2^e éd. en 2015).

PROCESSUS DESCENDANT ET ASCENDANT

À la rencontre entre les niveaux psychologiques et cognitifs, la création quotidienne équilibre des processus descendant et ascendant de traitement des données.

Ainsi, culturellement surévalué et prédominant dans la conception de projets d'architecture, le processus de perception visuelle est le résultat d'une succession de traitements d'informations : des ondes lumineuses entrent par la pupille lorsque l'œil capte de la lumière, elles sont retournées sur le cristallin, elles viennent frapper de minuscules cellules en forme de bâtonnets/cônes sur la rétine, provoquant des réactions chimiques complexes sur la rétine qui engendre des impulsions électriques, envoyées dans le nerf optique, ce qui génère un ensemble de signaux électriques dans le cerveau. Aucune correspondance directe n'existe entre les ondes lumineuses (les *inputs* du processus de perception visuelle) et les signaux électriques générés par l'activité cérébrale (les *outputs*). Les différents transcodages génèrent chacun du bruit, mais la rétine est également de taille réduite et les vaisseaux sanguins dont elle est saturée gênent le passage de la lumière, nous rendant incapables de voir ce qui est sur le côté, derrière nous, ou partiellement caché. Les processus perceptifs associés aux autres sens sont aussi complexes et ils possèdent également ce type de limites¹⁴.

Les données perceptives de l'environnement sont donc *incomplètes* et produites par une succession de transcodages *imprécis*. Les images mentales que nous concevons sont donc des *interprétations* laborieuses de celle-ci. Soumises à un flux ininterrompu de nouvelles informations douteuses, notre conscience tente constamment de les compléter et de les corriger en répétant les expériences pour augmenter la quantité de données exploitables en provenance de nos sens ou en faisant appel aux données mémorisées, la mémoire de données acquises lors d'expériences passées. Quand elle manque d'information pour identifier quelque chose, notre conscience formule des hypothèses en s'aidant du contexte. De manière générale, lorsque le cerveau manque d'informations après traitement des données perceptives, il se sert d'indices repérés dans le contexte pour donner du sens aux objets perçus et pour faire des hypothèses : il tente de contextualiser ces données nouvelles dans un ensemble de données plus large pour les compléter. Nous ne nous apercevons pas de l'assimilation permanente de ces indices sauf quand ils provoquent des contradictions visuelles : des illusions d'optique. Dans ce cas, le contexte rend ambiguë la perception.

En conception architecturale, le traitement d'informations visuelles est omniprésent. Le processus est rythmé de nombreuses productions graphiques dans des niveaux variables de précision, d'échelle et de définition (plans, coupes, élévations, maquettes, rendus, animations, réalité virtuelle, perspectives, croquis, schémas...). Le concepteur est donc régulièrement confronté à des informations visuelles incomplètes et erronées, et il ne s'en rend compte que partiellement. Le concepteur opère alors (in)consciemment des hypothèses.

De nombreuses recherches portent sur les illusions perceptives. Au début du XX^e siècle, les psychologues allemands de la *Gestalttheorie* (psychologie de la forme) ont théorisé les principes (émergence, réification, multistabilité, invariance) et les lois perceptives des configurations formelles (prégnance, ségrégation, proximité, similitude, clôture, destin commun, bonne conduite, expérience) à partir desquelles nous distinguons une forme à partir d'un fond. Ils ont démontré que nous nous fions à certains principes propres à la perception visuelle (similitude, symétrie, proximité, fermeture). Le mouvement joue également un grand rôle dans ce processus ainsi que la connaissance préalable de la chose perçue nous permettant de la reconnaître plus facilement la fois suivante, lorsqu'elle est perçue à nouveau.

En architecture, en exerçant son regard, le concepteur est régulièrement confronté à ce type d'ambiguïtés visuelles, dont voici trois exemples emblématiques parmi d'autres possibles :

- pour déterminer la luminosité d'un objet, notre conscience la compare avec celle de son arrière-plan pour en déduire statistiquement si cet objet est clair ou foncé en fonction du contexte visuel dans lequel il est perçu. Selon la "loi du contraste simultané des couleurs" (1839) énoncée par

¹⁴ Dans ce texte, nous prendrons chaque fois l'exemple de la perception visuelle parce qu'elle est la seule à pouvoir être illustrée, mais les autres sens présentent les mêmes problèmes. De plus, en conception architecturale, la vision – le rapport à l'image – est le sens le plus sollicité à plusieurs niveaux (succession d'images mentales du projet dans la conscience, interaction avec des productions graphiques sur des supports analogiques et numériques...).

le chimiste français Michel-Eugène Chevreul (cf. figure 2-1), si un objet est plus sombre que le fond sur lequel il se détache, il en conclut que l'objet est sombre, alors que si un objet est plus clair que le fond, il en conclut que c'est un objet clair, mais si deux objets d'une même couleur sont présentés sur un fond qui varie, ils peuvent paraître de couleur différente. Ce phénomène a été popularisé par la "*checker shadow illusion*" (1995) du neuroscientifique américain Edward H. Adelson (cf. figure 2-2) ;

- situer un objet dans l'espace ou évaluer sa taille par rapport à d'autres objets n'est pas évident. Les "*distorted room demonstrations*" réalisées par le scientifique américain Adelbert Ames Jr à la fin des années 1940 et parfaitement décrites par William H. Ittelson (1952) sont des structures de tailles et de formes variées qui lorsqu'elles sont vues à partir d'un point précis, apparaissent comme des grandes pièces rectangulaires, alors que les objets présents dans ces structures paraissent déformés. Ces expériences montrent qu'un motif (*pattern*) de stimulation rétinienne peut être le résultat d'un nombre infini de configurations externes, alors que la pièce est perçue comme parfaitement rectangulaire. En réalité, le coin droit de la pièce est beaucoup plus proche du spectateur que le coin gauche (cf. figure 2-3) ;
- pour comparer la taille de deux objets identiques, l'agencement des lignes de fuite donnent au cerveau une impression de profondeur, si bien que deux formes de même longueur peuvent paraître de tailles différentes. Le scientifique allemand Franz C. Müller-Lyer (1889) a décrit l'illusion qui porte aujourd'hui son nom à l'aide d'un simple segment partagé en deux parts égales, une moitié terminée par des segments convergents, l'autre par des segments divergents (cf. figure 2-4).

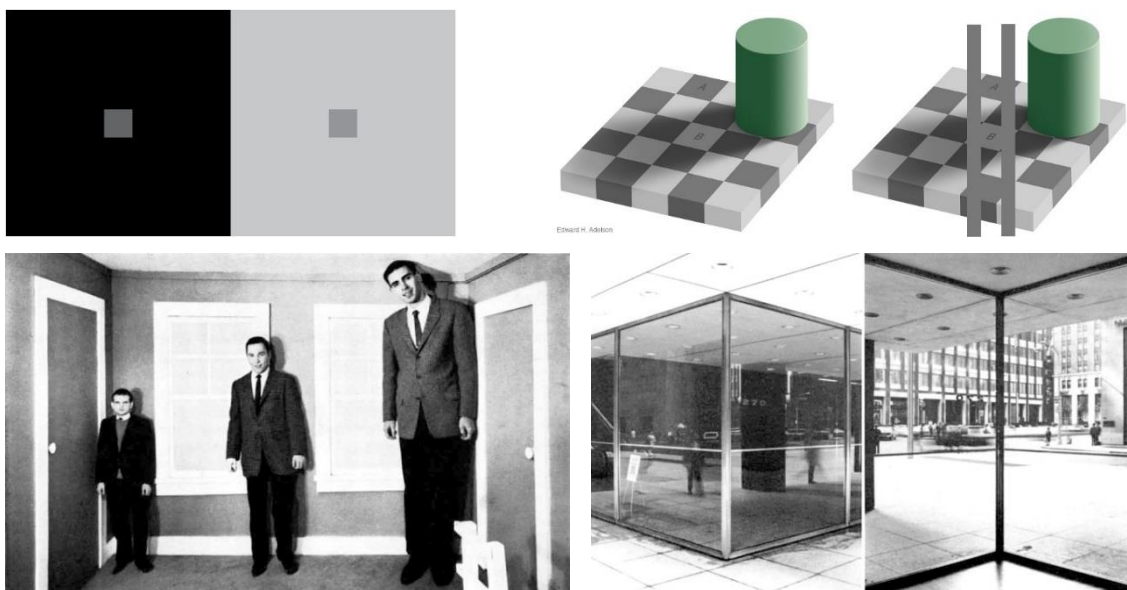


Fig. 2 – (1) Selon la "loi du contraste simultané des couleurs", les deux petits carrés semblent avoir la même couleur, pourtant celui de gauche est plus foncé que celui de droite à cause de la différence de couleur des deux fonds. (2) Dans la *checker shadow illusion*, le carré A a exactement la même nuance de gris que le carré B (Adelson, 1995). (3) "Trois étudiants d'environ la même hauteur semblent être de tailles radicalement différentes dans une grande chambre d'Ames. L'étudiant de gauche est en fait presque deux fois plus éloigné de l'appareil photographique que celui de droite, mais la perspective déformée de la pièce masque ce fait." (Wittreich, 1959, p.58). (4) Un exemple de l'illusion de Müller-Lyer spatialisée en architecture (Gregory, 1968, p.71).

Notre conception du réel repose sur un flux continu d'hypothèses formulées par la conscience après traitement de données multiples. Deux processus principaux de gestion des informations sont distingués, mais ils travaillent en interaction (Neisser, 1967)¹⁵ :

¹⁵ En termes de modélisation, la distinction des processus ascendant (approche écologique) et descendant (approche constructiviste) est utile : si un élément a été perçu, il est enregistré dans la mémoire et il constitue pour le sujet une expérience

- un *processus ascendant* (*data-driven* ou *bottom-up*) de traitement automatique de l'information concernant les premiers niveaux du traitement de l'information (neurosensoriel et perceptif) déterminé par les caractéristiques du stimulus. Les données viennent directement de nos sens. Il élabore des représentations définies par les caractéristiques structurales du stimulus servant de base de l'identification perceptive sans tenir compte des expériences antérieures de la personne ;
- un *processus descendant* (*theory-driven* ou *top-down*) de traitement réflexif de l'information de haut niveau dont les données préalablement stockées dans la mémoire sont issues de nos expériences antérieures (connaissances, souvenirs, idées, habitudes, réactions, attentes, objectifs...). Il opère au moment de l'identification, après les traitements des niveaux neurosensoriel et perceptif.

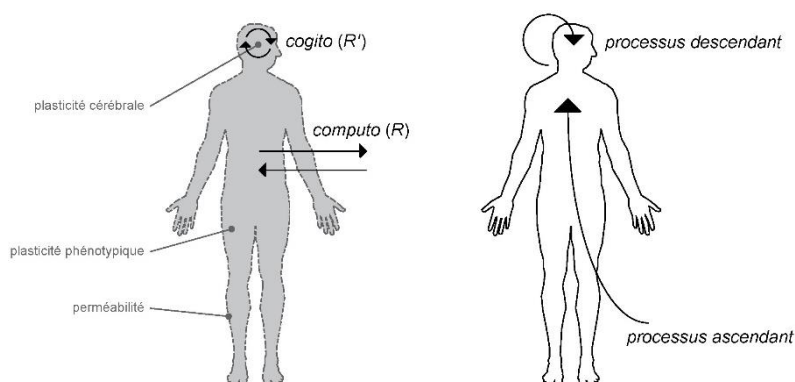


Fig. 3 – Damien Claeys, Le *cogito* émergeant du *computo* et la prise de décision à la rencontre entre processus descendant et ascendant de traitement de données.

L'être humain réorganise créativement son réel augmenté R' en équilibrant ses expériences passées et présentes. À partir de la boucle dynamique entre les traitements ascendant et descendant des données respectivement perceptives et mnésiques, la conscience de l'être humain rééquilibre constamment deux flux d'informations, l'un, en provenance de l'environnement *extérieur* et, l'autre, dont la principale origine est la mémoire *interne*.

La créativité quotidienne s'exprime pleinement dans le décalage dynamique entre le réel R et la réalité augmentée R' (cf. figure 4). Parallèlement au R source d'incertitude et générateur d'angoisse, l'être humain développe patiemment un R' en confrontant son (auto)référentiel (mouvement descendant) avec les informations issues de ses interactions répétées avec l'environnement (mouvement ascendant), ce dernier comprenant également les autres membres du groupe socioculturel auquel il appartient. Il projette sur le R la modélisation dynamique d'un ordre (inter)subjectif pour asseoir des (pseudo-)certitudes. De cette distinction fondamentale entre R et R' , l'être humain a le besoin constant d'organiser le monde qui l'entoure, de (re)configurer patiemment son image tronquée du R pour calmer ses angoisses existentielles.

La stabilité du R' est régulièrement remise en jeu lorsque de nouvelles expériences perceptives et altérations de la mémoire mettent à mal l'image du R parce que ce dernier semble résister à nos projections (inter)subjectives. Toute tentative de confrontations directes au réel est vouée à l'échec. Seule demeure l'accumulation des informations tirées de nos essais/erreurs et la vérification par

passée, contrairement à un élément qui serait perçu pour la première fois. Mais ces deux processus sont en interaction. Ainsi, en les combinant, le psychologue américain d'origine allemande Ulric Neisser (1967) postule l'existence d'un cycle perceptif mettant en œuvre des éléments (schémas mnésiques, données perceptives, stimuli environnementaux) et des processus (détermination, échantillonnage, modification) dans lequel la perception n'est pas seulement un processus d'identification de stimuli, mais elle est également un processus *anticipatif* : le schéma en mémoire *détermine* les modalités de l'exploration perceptive (par exemple, nous ne cherchons pas un éléphant dans notre jardin), la perception *échantillonne* de manière probabiliste les stimuli de l'environnement, ce qui rend disponible de nouvelles informations à propos de l'environnement qui *modifient* à leur tour les schémas anticipatifs...

l'expérience qui contredit régulièrement la conception fantasmée du réel de l'être humain. Aucune correspondance complète n'est possible entre le réel et nos réalités multiples : "Une différence existe donc entre R et R' , un solde générateur d'angoisse existentielle et d'incertitude sur lequel la structure logique patiemment élaborée de R' n'a pas prise. Ce solde fait virtuellement partie du non-réel augmenté $\neg R'$, constitué de l'infinité de tous les possibles de l'imaginaire, non-activés dans R' . L'être humain peine à appréhender cet écart négatif (limite perceptive) et positif (imagination débridée) dont les contours évoluent constamment." (Claeys, 2016)

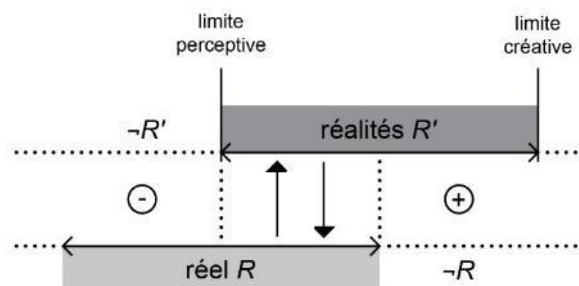


Fig. 4 – Damien Claeys, Le décalage dynamique entre R et R' .

MODÉLISATION PROBABILISTE DU NIVEAU COGNITIF

Le flux constant d'informations qui nous parvient de nos différents canaux sensoriels nous fournit beaucoup trop d'informations. En effet, "la quantité d'informations potentiellement perceptible depuis le réel dépasse les capacités cognitives du cerveau humain" (Claeys, 2016). La conscience de l'être humain souffre d'une "*bounded rationality*" (Simon, 1957) qui rend impossible l'appréhension totale du réel. Autrement dit, si le cerveau percevait la totalité des stimuli potentiels de son environnement, il serait rapidement *out of memory*¹⁶. Le concepteur possède donc une rationalité très "*procédurale*" (Simon, 1959) ce qui favorise l'utilisation des routines pour prendre des décisions. De plus, le concepteur s'adapte à cette "complexité naturelle" qui excède ses capacités cognitives par "simplexification" (Berthoz, 2009). Il propose des solutions efficaces qui lui permettent de poser les questions autrement et il utilise des principes simplificateurs (sans dénaturer la complexité du réel) pour traiter rapidement les informations avant d'agir (en tenant compte du passé et en anticipant l'avenir). Enfin, trois limites cognitives affectent la conscience (Gigand, 2010 ; Claeys, 2015) : l'*incomplétude* (impossibilité de l'être humain à connaître sa propre structure ontologique), l'*autoréférence* (incertitude liée à la structure unique de l'autoréférentiel de chaque être humain) et l'*indétermination* (limite subjective du domaine des données du réel prises en compte). Comme l'écrivent Gérard Gigand et Jean-Pierre Bréchet (2015), notre rapport au réel est donc "partiel", "partial" et "parcellaire". À travers le filtre cognitif de ses organes perceptifs, l'être humain n'interprète qu'une partie limitée des informations disponibles dans le réel. À défaut d'une connaissance complète du réel R , il construit une réalité R' . Le réel est beaucoup trop complexe pour que nous prenions tout en compte, notre conscience se concentre uniquement sur certains éléments provenant de ses *observations* et pour le reste il fait des *hypotheses*.

À la rencontre des processus descendant et ascendant, la conscience réalise un bilan statistique à partir des variations qu'elle est capable de percevoir (elle efface tous les inputs stables et elle ne perçoit pas toutes les variations). La conscience de l'être humain raisonne *comme* un statisticien (Dehaene, 2012). Elle reconstruit une réalité probable à partir de l'acquis d'expériences ambiguës qu'elle interprète, passées (mémoire) et présentes (perception). Au vu de ses connaissances actuelles, elle déduit de manière *dynamique* et *optimale* la probabilité d'un événement à partir de celles d'autres événements déjà évalués et des données issues de l'environnement.

Le processus descendant est prédominant dans l'établissement du bilan statistique. Dans le cas de la perception visuelle, lorsque le sujet est face à une ambiguïté perceptive, les connaissances à priori

¹⁶ Message d'erreur typique affiché à l'écran d'un ordinateur lorsque toute la mémoire disponible a été allouée et que plus aucun programme ne peut fonctionner.

influencent le plus le processus d'estimation, tout simplement parce qu'en ayant eu l'expérience que la majorité des objets rencontrés dans R sont conformes à tel ou tel schème, l'être humain finit par les considérer à priori comme ayant tous les attributs de ce schème. Ainsi, le cerveau fonctionnerait avec "l'hypothèse implicite que la lumière provient du haut" (Seriès, 2016) ce qui biaise l'interprétation visuelle d'objets projetant des ombres (notamment pour l'interprétation arbitraire de formes "en bosse" ou "en creux"). Mais l'être humain possède également des préférences/attentes associées à la symétrie, à la continuité spatio-temporelle, aux directions cardinales...

Dans les modélisations récentes du fonctionnement du cerveau, les neuroscientifiques utilisent les statistiques de Bayes¹⁷. Le cerveau est étudié à l'aide de modèles probabilistes en comparant celui-ci à une machine bayésienne capable de combiner de manière "statistiquement optimale" différentes modalités perceptives comme un "estimateur" du "maximum de vraisemblance" (Ernst & Banks, 2002). Le cerveau est assimilé à un système prédictif capable de construire des *inférences* statistiques dans le sens où son fonctionnement est comparable, par analogie, à un processus d'élaboration de conclusions statistiques à partir de données spécifiques et en utilisant des connaissances sur les probabilités. Un système effectue une inférence bayésienne lorsqu'il "met à jour la probabilité" qu' "une hypothèse soit vraie sachant que certaines données ont été mesurées" (Seriès, 2016).

Sachant que la variable H représente une hypothèse (un modèle, un état d'une partition du R tel qu'il est construit dans le R') et que la variable O représente des observations (des informations perçue dans R , tels qu'elles sont interprétées pour actualiser le R'), l'équation du théorème de Bayes (ou du théorème de probabilité des causes) est la suivante¹⁸ :

$$P(H | O) = \frac{P(O | H)}{P(O)} P(H)$$

À partir de cette équation, la règle de Bayes affirme que la *probabilité à postériori* $P(H|O)$ est proportionnelle au produit de la *fonction de vraisemblance* $P(O|H)$ et de la distribution de *probabilité à priori* $P(H)$, le tout étant ramené par un *facteur de normalisation* $P(O)$ ¹⁹. À l'aide des probabilités conditionnelles²⁰, quatre termes sont identifiables dans cette expression mathématique :

- le *degré de confiance à postériori* $P(H|O)$ est la probabilité de la survenue de l'hypothèse H après la survenue des observations O . Le terme représente la *plausibilité à posteriori* de l'hypothèse H compte tenu des observations O faites à priori pour répondre à la question : avant d'agir, quelle est la probabilité que l'hypothèse soit vraie au vu des observations ?
- la *fonction de vraisemblance* $P(O|H)$ est la probabilité de la survenue des observations O , sachant que l'hypothèse H a été formulée. Le terme représente le *degré de compatibilité* des observations O résultantes de preuves sensorielles compte tenu de l'hypothèse H pour répondre à la question : ces observations sont-elles cohérentes avec l'hypothèse formulée ?
- le *degré de confiance à priori* $P(H)$ est la probabilité de la survenue de l'hypothèse H avant la survenue des observations O . Sachant que les connaissances antérieures du sujet peuvent être

¹⁷ Au XVIII^e siècle, le mathématicien britannique Thomas Bayes a travaillé sur les probabilités et il est le premier à avoir formulé ce qui est appelé à titre posthume le "théorème de Bayes" (1763), à la base de la méthode d'inférence bayésienne, notamment utilisée au XXI^e siècle pour l'auto-apprentissage en intelligence artificielle. L'inférence bayésienne produit une probabilité qui s'interprète comme le degré de confiance à accorder à une cause hypothétique.

¹⁸ En fonction du domaine d'application de la statistique bayésienne et des auteurs l'utilisant, d'autres variables peuvent être définies : hypothèse/observation, hypothèse/donnée, modèle/observation...

¹⁹ Dans cette équation, plusieurs conditions peuvent être ajoutées : $P(H|O_1, O_2, O_3, \dots, O_n)$.

²⁰ En théorie des probabilités, l'expression $P(A|B)$ se lit : la probabilité de A , sachant B . Autrement dit, la probabilité conditionnelle que l'événement A ait lieu sous la condition que l'événement B ait déjà eu lieu. Ainsi, $P(H|O)$ peut se lire, la probabilité de la survenue de l'événement H , sachant que l'événement O est survenu.

inconscientes, le terme représente la *plausibilité à priori* de l'hypothèse H pour répondre à la question : cette hypothèse est-elle à priori probable²¹ ?

- le *facteur de normalisation* $P(O)$ est la probabilité de la survenue des observations O . Le terme agit comme facteur de normalisation en divisant les autres termes pour que la valeur de $P(H|O)$ soit un nombre réel compris entre 0 et 1.

En mettant en relation les probabilités à posteriori et à priori, le théorème de Bayes exprime théoriquement la révision de nos degrés de confiance en fonction des observations que nous faisons.

Les neuroscientifiques et biologistes allemands Marc O. Ernst et Heinrich H. Bülthoff (2004) présentent un modèle théorique activé par une boucle entre l'environnement et l'être humain (sensation → stimulation → action). Ils montrent que les informations du processus descendant (connaissances préalables) et du processus ascendant (organes sensoriels → stimulation → traitement sensoriels) sont traités par les règles de la statistique bayésienne pour déterminer la probabilité à posteriori $P(H|O)$ à partir de laquelle, en fonction de l'avantage espéré (fonction gain/perte), l'être humain prend potentiellement la décision d'agir (*cf.* figure 5). Dans ce modèle, l'inférence bayésienne fournit un moyen formel pour modéliser l'incertitude au sujet du réel en combinant les connaissances antérieures avec les informations fournies par des preuves sensorielles pour en déduire l'interprétation la plus probable de l'environnement. Ce cadre bayésien leurs permet – selon eux – la construction de "modèles de l'observateur idéal" en tant que norme de comparaison avec la performance humaine. Toute la difficulté de ce type de modélisation réside dans la détermination de la fonction de vraisemblance $P(O|H)$ et des connaissances préalables $P(H)$. En affirmant que l'intentionnalité humaine peut être étudiée avec une perspective bayésienne, le scientifique français Remy Lestienne (2016) décrit parfaitement le modèle de Ernst & Bülthoff (2004) : "Après la sélection de l'interprétation la plus probable des entrées sensorielles par un traitement bayésien de ces entrées en utilisant le répertoire des données mémorisées ressemblant à la situation actuelle, cette interprétation est transmise aux centres de décision, où elle est comparée au répertoire des actions possibles (un nouveau pas pour lequel la mémoire joue encore un rôle capital). La décision finale dépend du gain que l'on peut espérer pour chaque action possible".

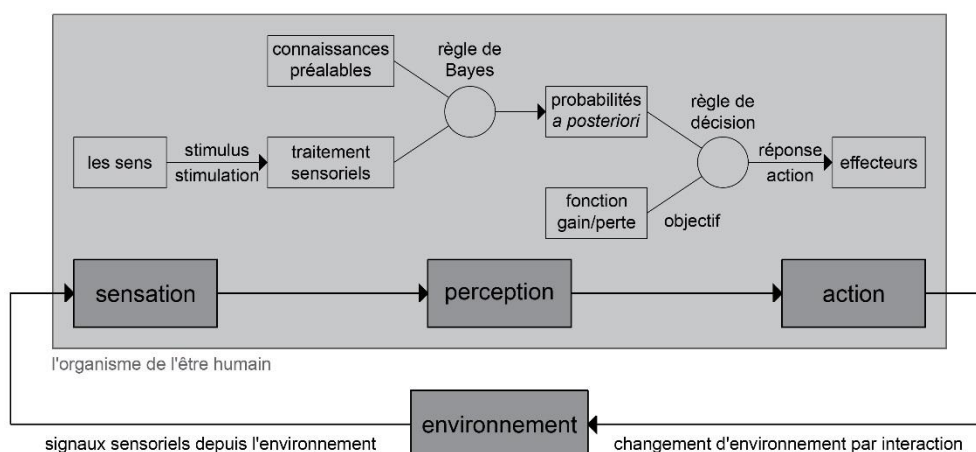


Fig. 5 – La boucle perception-action intégrant un modèle bayésien.
Adaptation d'après Marc O. Ernst & Heinrich H. Bülthoff (2004, p.164).

De là, en reprenant la représentation de l'émergence dynamique de R' à partir de l'interaction du corps avec le contexte dans R , la transposition de la logique bayésienne permet de lier la dynamique de

²¹ L'à priori de la probabilité conditionnelle n'est pas indépendant de toute observation au sens kantien de l'expression, il peut résulter d'expériences préalables. Cette estimation à priori est spécifique parce qu'elle est ignorée par les autres méthodes probabilistes.

l'émergence de R' à la gestion par la conscience de l'écart entre prédictions et sensations, entre traitement descendant et ascendant des données mnésiques et perceptives (cf. figure 6).

La transposition de la théorie statistique bayésienne à la modélisation cognitive de la créativité quotidienne montre que l'état de notre réel augmenté R' à un instant donné k est le résultat d'un *à priori* ($0 \rightarrow k-1$) et qu'il évoluera *à posteriori* ($k+1$) en fonction des prises de décision de l'être humain.

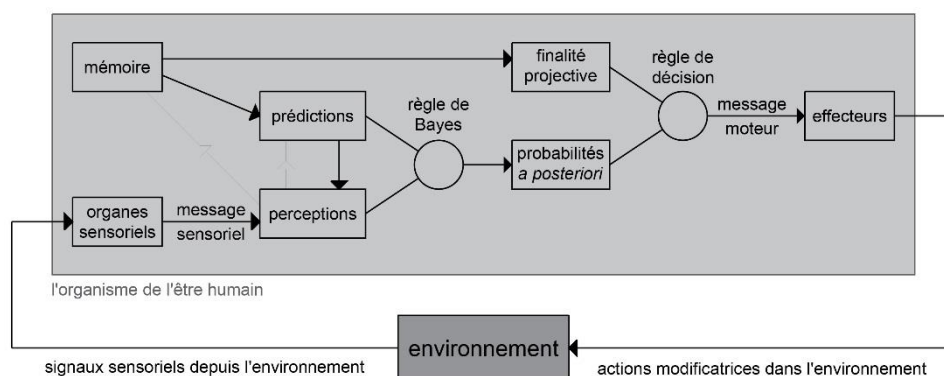


Fig. 6 – La dynamique de l'émergence du réel augmenté R' à partir d'une logique bayésienne.

MODÉLISATION HEURISTIQUE DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

À défaut de pouvoir être complètement définie, la conception architecturale est un phénomène complexe modélisable heuristiquement. Pour produire un projet d'architecture menant à la construction potentielle d'un artefact architectural, un concepteur initie "un processus de conception au cours duquel il opère mentalement à plusieurs reprises sur un modèle jusqu'à proposer une solution satisfaisante parmi d'autres possibles" (Claeys, 2015). À défaut d'être linéaire, ce processus est plutôt "circulaire", "itératif" et "réflexif", passant alternativement par des phases de "convergence" et de "divergence" avant d'aboutir à une "solution sous-optimale parmi d'autres" (Claeys, 2013). Le concepteur oriente le processus de conception en fonction d'une "finalité projective" (Claeys, 2016).

En raison de la taille limitée du présent texte, seul le processus interne de conception est étudié ici, toutes les conditions externes affectant le travail du concepteur sont volontairement omises, ce qui ne minimise en rien leur importance²².

Mais comment intégrer en conception architecturale la dimension probabiliste de toute prise de décision ?

Pour organiser un modèle heuristique *partiel* de la conception architecturale, capable d'intégrer la dimension probabiliste associée à une posture bayésienne, trois processus continus animant le réel augmenté R' sont présentés ici. Dans le cadre de la modélisation :

- ils évoluent parallèlement tout en ayant des interactions répétées ;
- ils sont représentés par une succession d'états discrets de natures différentes : des images mentales du modèle architectural (M_i), des états de la mémoire active (Mn_i)²³ et des perceptions de médias architecturaux (Md_i) ;

²² Les facteurs externes au processus sont nombreux et mériteraient d'être également étudiés : nombre de co-concepteurs, rythme spatiotemporel dans lequel le concepteur travaille, limites budgétaires du projet, ergonomie du lieu de la conception, état d'esprit, fatigue et agilité cognitive du concepteur... Dans le présent texte les mots *concepteur* et *conception* intègrent inévitablement la possibilité de la coconception.

²³ Choisie à partir de l'abréviation du nom de la déesse grecque Mnémosyne – et du mot *mémoire* – la variable synthétique Mn_i est introduite ici par commodité pour modéliser la succession des états mnésiques de la conscience, qu'ils fassent référence à des images mentales, à des interprétations/projections de productions médiatiques après perception/création, à leur combinaison ou à tout autre acte cognitif lié (in)directement au processus. Contrairement aux analogies avec l'archivage en bibliothèque ou du stockage sur un disque dur la présentant comme un réservoir *passif* de données, la mémoire est *active* dans le sens où elle recouvre un ensemble de fonctions psychiques telles que la supratemporalité (la capacité à concevoir le passé et le futur), la fixation (l'encodage de données nouvelles), la conservation (la rétention évolutive des données) et le

- ils sont indexés à partir des valeurs prises par un indice i attribué à chacune de leurs occurrences.

De là, $\forall i \in \{0, 1, 2, 3, \dots, k, \dots, n\}$, ces trois processus sont :

- la succession des images mentales du projet et des opérations cognitives opérées entre elles. Si un modèle architectural M_k est une image mentale à un instant donné k du projet d'architecture en cours de conception et si une opération architecturale $O_{k \rightarrow k+1}$ est un acte cognitif capable d'actualiser ce modèle, alors un processus de conception est modélisable heuristiquement comme une succession non-linéaire d'occurrences du modèle M_i rythmées par des opérations $O_{i \rightarrow i+1}$ et orientée en fonction de la finalité projective du concepteur (Claeys, 2013 ; Claeys, 2015) ;
- la succession des états de la mémoire active et des actualisations/conservations opérées entre eux. La mémoire active de toutes les expériences passées $Mn_{0 \rightarrow k-1}$ est un système de données auquel le concepteur fait *appel* pour éclairer un modèle architectural M_k , à un instant donné k . De même, à partir de ce dernier d'autres données peuvent être *fixées* pour actualiser l'état mnésique suivant Mn_{k+1} ;
- la succession des perceptions actives des médias externes (plans, schémas, dessins, gestuelles, animations... ou tout autre forme de média observable dans le réel R). Si un média Md_{k-1} est une production médiatique perçue à un instant donné $k-1$ du processus de conception architecturale le concepteur peut l'interpréter comme une donnée pour actualiser le modèle architectural M_k à un instant donné k . De même, à partir de ce dernier, le concepteur peut projeter la production d'un média Md_{k+1} .

Deux boucles de rétroaction s'installent entre ces trois processus parallèles (cf. figure 7) :

- une boucle *ascendante* et alter-réflexive²⁴ s'installe entre la succession des perceptions des médias Md_i et celle des modèles architecturaux M_i . La même séquence se reproduit pendant tout le processus de conception du projet : à un instant k , un média architectural dans R stimule les organes perceptifs du concepteur qui l'interprète et construit la perception du média Md_{k-1} (par exemple, il observe le dernier plan qu'il vient de dessiner sur une feuille), ce qui influence la modélisation de M_k , puis il projette la création du média Md_{k+1} qu'il peut matérialiser en agissant dans R (par exemple, un dessinant sur une feuille un nouveau plan) jusqu'à ce que celui-ci soit perçu à son tour... ;
- prédominante lors des prises de décision du concepteur, une boucle *descendante* et auto-réflexive s'installe entre la succession des états de la mémoire active Mn_i et celle des modèles architecturaux M_i . La même séquence se reproduit pendant tout le processus de conception du projet : à un instant k , le concepteur fait *appel* à la mémoire active capable de *conserver* des données du processus depuis son origine $Mn_{0 \rightarrow k-1}$ (par exemple, les images mentales d'autres dessins réalisés avant), ce qui influence la modélisation du M_k , puis il *fixe* de nouvelles données pour actualiser l'état de la mémoire active Mn_{k+1} (par exemple, l'image mentale du dernier dessin réalisé) jusqu'à ce qu'il fasse à nouveau appel à la mémoire...

Plus précisément, dans la boucle descendante, le terme $Mn_{0 \rightarrow k-1}$ représente la synthèse cognitive du processus de conception depuis son origine²⁵, si bien qu'il fournit à la conscience du concepteur, à un instant donné k , la synthèse subjective *a priori* de 0 à $k-1$:

- de tous les fixations, les conservations et les rappels de données actualisant les états antérieurs de Mn_i ;
- de toutes les hypothèses intrapsychiques définissant les états antérieurs du modèle architectural M_i et les opérations $O_{0 \rightarrow k+1}$ pour les actualiser ;
- de tous les états de perception de productions médiatiques Md_i (interprétations/projections) ;
- de tous les états de la finalité projective ayant orienté le processus.

rappel (l'évocation de données grâce à un système de recherche). La variable $Mn_{0 \rightarrow k-1}$ décrit l'ensemble des actes de consciences mémorisés, antérieurs à l'instant k (de l'acte 0 à l'acte $k-1$), dans un processus de conception architecturale.

²⁴ Ces médias – analogiques ou numériques – permettent au concepteur d'engager un dialogue hétéroréflexif ascendant avec lui-même ou avec d'autres acteurs du processus de conception – humains ou machines dotées d'IA.

²⁵ Mais également d'autres processus antérieurs menant à la conception d'autres projets d'architecture.

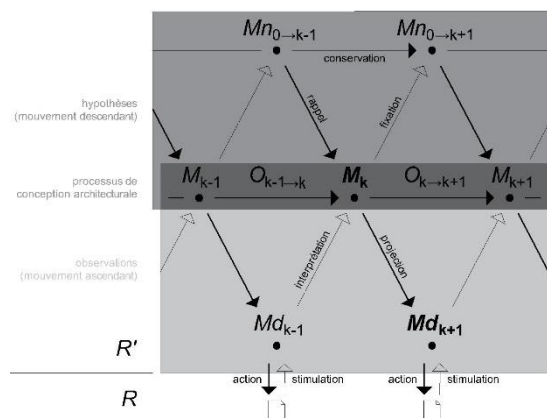


Fig. 7 – Damien Claeys, Balance répétée entre les connaissances à priori du processus entre O et $k-1$ et des médias architecturaux au temps $k-1$, pour construire le modèle architectural au temps k en fonction de son développement espéré à posteriori au temps $k+1$.

EN GUISE D'OUVERTURE SPÉCULATIVE

Pour conclure, en intégrant la logique développée par le théorème de Bayes, le modèle heuristique partiel de la conception architecturale décrit plus haut peut être enrichi, à partir du moment où des probabilités de la connaissance à priori ($k-1$) et à posteriori ($k+1$) du modèle architectural M_k peuvent être définies à l'instant k .

Par transposition, en remplaçant dans l'équation originale de Bayes l'hypothèse H par l'occurrence du modèle M_i à l'instant $k+1$ et les observations O par la somme à l'instant k de l'occurrence du modèle M_i et de celle de la synthèse mnésique $Mn_{0 \rightarrow i-1}$, une formule purement *spéculative* peut être proposée pour décrire la probabilité à *posteriori* de l'advenue du modèle M_{k+1} sachant que le concepteur connaît à *priori* M_k et $Mn_{0 \rightarrow k-1}$:

$$P_k(M_{k+1} \mid M_k \wedge Mem_{0 \rightarrow k-1}) = \frac{P_k(M_k \wedge Mem_{0 \rightarrow k-1} \mid M_{k+1})}{P_k(M_k \wedge Mem_{0 \rightarrow k-1})} P_k(M_{k+1})$$

À l'instant k , le concepteur met en balance sa connaissance à *priori* du modèle mental M_{k-1} avec sa connaissance à *posteriori* du modèle M_{k+1} , avant de décider de mener une opération cognitive $O_{k \rightarrow k+1}$ sur le modèle M_k . À chaque instant du processus de conception, le concepteur réitère cette mise en balance pour retravailler son image mentale du projet d'architecture, ce qui lui permettra d'aboutir à une solution sous-optimale. Le moteur cognitif lui permettant de faire évoluer le projet au cours du processus est la finalité projective qu'il associe à sa démarche de projétation, tributaire du processus préalable d'interprétation créative du réel qui l'englobe. Celle-ci ne suppose pas une liberté mais une *autonomie* de prise de décision de la part du concepteur. Parce qu'elle leur donne un sens, elle lui permet d'envisager des hypothèses à *posteriori* et de développer de manière abductive des intuitions de l'état du modèle à *priori*. Autrement dit, le concepteur évalue la probabilité qu'une opération $O_{k \rightarrow k+1}$ donnée réoriente avantageusement le processus de conception en cours vers un état espéré M_{k+1} en fonction de sa finalité projective.

RÉFÉRENCES

- ARISTOTE [1991]. *Métaphysique* [Trad. Barthélemy-Saint-Hilaire J., rev. Mathias P., Paris : Pocket (coll. Agora), éd.1991].
- BAYES, Thomas (1763). "An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances". [Communicated by Mr. Price in a Letter to John Canton A.M.F.R.S.]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Vol.53, pp.370-418.
- BERTHOZ, Alain (2009). *La simplicité*. Paris : Odile Jacob.

- BODEN, Margaret A. (1990). *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. London: Weiden-feld & Nicolson.
- BORAUD, Thomas (2015). *Matière à décision*. Paris : CNRS (coll. Biblis), éd.2017
- CHEVREUL, Michel-Eugène (1839). *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés, considéré d'après cette loi*. Paris : Pitoit-Levrault.
- CLAEYS, Damien (2017). "Pour une co-conception écosystémique de l'architecture à l'ère de l'anthropocène". *Séminaires Penser à partir de l'architecture : Poétique, technique, éthique*.
- CLAEYS, Damien (2016). "Le fantasme du démiurge : L'architecte soumis à la tentation du pouvoir". *Acta Europæana Systemica*, n°6, 14pp.
- CLAEYS, Damien (2015). "Concevoir un projet d'architecture : Calmer les certitudes, gérer l'incertitude". *Lieuxdits : Sérendipité*, UCL-LOCI, n°9, avril, pp.20-23.
- CLAEYS, Damien (2013). *Architecture & complexité : Un modèle systémique du processus de (co)conception qui vise l'architecture*. Thèse de doctorat de l'Université catholique de Louvain. Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain, 445pp.
- CSÍKSZENTMIHÁLYI, Mihály (1996). *La créativité : Psychologie de la découverte et de l'invention*. Trad. Claude-Christine Farny [*Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*. New York: Harper Perennial]. Paris : Robert Laffont (coll. Pocket), éd.2006.
- DEHAENE, Stanislas (2012). *Le cerveau statisticien : La révolution Bayésienne en sciences cognitives*. Cycle de cours 2011-2012 au Collège de France, Chaire de Psychologie cognitive et expérimentale.
- DREYFUS, Hubert L. (1972). *Intelligence artificielle : Mythes et limites*. Trad. Rose-Marie Vasallo-Villaneau avec Daniel Andler [*What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence*. New York: MIT Press, 2^e éd. augmentée chez Harper & Row en 1979]. Paris : Flammarion, éd.1984.
- EHRENFELS, Christian (von) (1890). *On Gestalt Qualities*. Smith B. (dir.). *Foundations of Gestalt Theory*. Munich: Philosophia Verlag, éd.1988, pp.82-117.
- ERNST, Marc O. & BANKS, Martin S. (2002). "Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal". *Nature*, Vol.415, n°6870, pp.429-433.
- ERNST, Marc O. & BÜLTHOFF, Heinrich H. (2004). "Merging the senses into a robustpercept". *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.8, Issue 4, pp.162-169.
- FELTZ, Bernard (2003). *La science et le vivant : Introduction à la philosophie des sciences de la vie*. Bruxelles : De Boeck & Larcier.
- GIGAND, Gérard (2010). *Se cultiver en complexité : La trialectique, un outil transdisciplinaire*, Lyon : Chroniques sociales.
- GIGAND, Gérard & BRECHET, Jean-Pierre (2015). *Le partiel, le partial, le parcellaire : L'intelligence trialectique de la complexité des phénomènes organisationnels*. Haute-Goulaine : Opéra.
- GREGORY, Richard L. (1968). "Visual illusions". *Scientific American*, Vol.219, No.5, pp.66-79.
- ITTELSON, William H. (1952). *The Ames demonstrations in perception: A guide to their construction and use*. Princeton (New Jersey): Princeton University Press.
- JEANNEROD, Marc (2005). *Le cerveau intime*. Paris : Odile Jacob.
- LESTIENNE, Remy (2016). *Le cerveau cognitif*. Paris : CNRS.
- LUBART, Todd I. et al. (2003) [MOUCHIROUD, Christophe, TORDJMAN, Sylvie, ZENASNI, Frank]. *Psychologie de la créativité*. Paris : Armand colin (coll. Cursus), éd.2005 + 2^e éd. en 2015.
- MORIN, Edgar (1986). *La méthode 3 : La connaissance de la connaissance*. Paris : Seuil (coll. Points).
- NADEAU, Robert (1999). *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*. Paris : PUF.

- NEISSER, Ulric (1967). *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. San Francisco: W. H. Freeman & Co.
- SERIÈS, Peggy (2016). "Le cerveau est-il une machine bayésienne ?". Isabelle Drouet (éd.) (2016). *Le bayésianisme aujourd'hui : Fondements et pratiques*. Paris : Matériologiques, pp.392-416.
- SIMON, Herbert A. (1976). "De la rationalité substantive à la rationalité procédurale". Trad. Ernst D. & Miermont D. ["From Substantive to Procedural Rationality". Latsis S. J. (dir.). *Method and Appraisal in Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp.129-148.]. *Pistes*, n°3, octobre, 1992, pp.25-45.
- SIMON, Herbert A. (1959). "Theories of Decision-making in Economics and Behavioral Science". *The American Economic Review*, vol. 49, n°3, juin, pp.253-283.
- SIMON, Herbert A. (1957). *Models of Man Social and Rational: Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. New York: Wiley.
- SIMON, Herbert A. & Newell, Allen (1958). "Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research". *Operations Research*. Vol.6, No.1, pp.1-10.
- WITTREICH, Warren J. (1959). "Visual Perception and Personality". *Scientific American*, Vol.200, No.4, pp.56-61.